

(2)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-043116

(43)Date of publication of application : 08.02.2002

(51)Int.Cl.

H01F 6/00

(21)Application number : 2000-222446

(71)Applicant : KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 24.07.2000

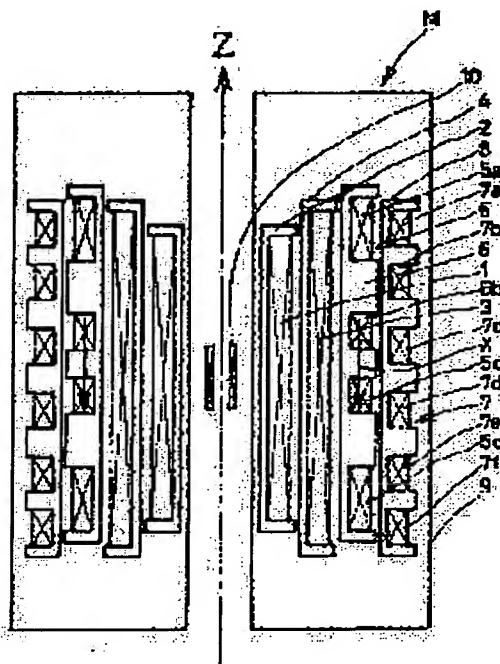
(72)Inventor : HAMADA MAMORU

(54) SUPERCONDUCTING MAGNET DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a superconducting magnet device which is superior in uniformity of magnetic field and capable of automatically decreasing the magnetic field component in the Z direction out of a magnetic field originating from a superconducting magnet, concentrically equipped with two or more spools provided with superconducting coils wound on them, without having to rewind the windings of the superconducting magnet, that has been fabricated once and enhancing the corrective capacity of a shim coil group.

SOLUTION: A superconducting magnet device is concentrically equipped with three spools 2, 4, and 6 provided with wound superconducting coils 1, 3, and 5a to 5d. The spool 6 is so provided as to be relatively movable in the axial direction of a magnet with respect to the other spools 2 and 4, and the spool 6 is relatively moved by a electromagnetic force which acts in the axial direction, when a current is applied to the superconducting coils 1, 3, and 5a to 5d, by which the magnetic component in a space near the center of the magnet is reduced automatically in intensity, so as to improve the magnetic field uniformity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-43116

(P2002-43116A)

(43) 公開日 平成14年2月8日 (2002. 2. 8)

| | | | |
|--------------------------|-------|--------------|------------|
| (51) IntCl. ⁷ | 識別記号 | F I | テームト* (参考) |
| H 0 1 F 6/00 | Z A A | H 0 1 F 7/22 | Z A A Z |

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-222446(P2000-222446)

(22) 出願日 平成12年7月24日 (2000. 7. 24)

(71) 出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区臨浜町1丁目3番18号

(72) 発明者 濱田 衛

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74) 代理人 100089196

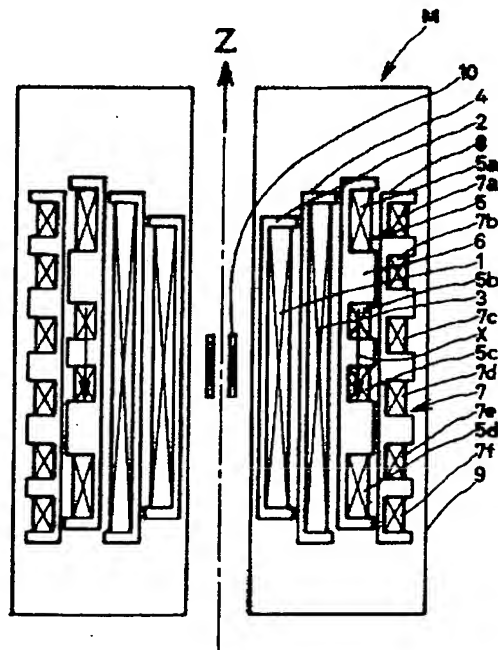
弁理士 梶 良之

(54) 【発明の名称】 超電導マグネット装置

(57) 【要約】

【課題】 巻線された超電導コイルを有する2つ以上の巻棒を同心に備えてなる超電導マグネットが発生する磁場の成分の内、上記Zの1次にかかわる磁場成分を、一度製作した超電導マグネットの巻線を巻き直したり、シムコイル群の補正能力を増強したりすることなく自動的に小さくし得る、磁場均一度の高い超電導磁石装置を提供する。

【解決手段】 巻線された超電導コイル1、3、5a～5dを有する3つの巻棒2、4、6を同心に備えたとともに、1つの巻棒6を他の巻棒2、4に対してマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設け、前記超電導コイル1、3、5a～5dに電流を印加したときに作用する軸方向の電磁力によって移動可能な巻棒6を相対的に移動させることにより、マグネットの中心付近の空間における磁場の成分を自動的に小さくして磁場の均一度を高めるようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 巻線された超電導コイルを有する 2 つ以上の巻棒を同心に備えるとともに、少なくとも 1 つの巻棒を他の巻棒に対してマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設け、前記超電導コイルに電流を印加したときに作用する軸方向の電磁力によって移動可能な巻棒を相対的に移動させることにより、マグネットの中心付近の空間における磁場の成分を自動的に小さくして磁場の均一度を高めるようにしたことを特徴とする超電導マグネット装置。

【請求項 2】 巻線された超電導コイルを有する 2 つ以上の巻棒の内、最も重量の大きな巻棒を低温容器に対して機械的に固定し、他の巻棒を各巻棒ごとにマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設けてなる請求項 1 に記載の超電導マグネット装置。

【請求項 3】 巻線された超電導コイルを有する 2 つ以上の巻棒の内、最も軸方向長さの長い巻棒を低温容器に対して機械的に固定し、他の巻棒を各巻棒ごとにマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設けてなる請求項 1 に記載の超電導マグネット装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、NMR（核磁気共鳴）装置、ESR（電子スピン共鳴）装置、MRI（核磁気共鳴イメージング）装置、物理研究用超電導マグネット等に適用される、磁場均一度の高い超電導マグネット装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般に、NMR 装置用超電導マグネット、ESR 装置用超電導マグネット、MRI 装置用超電導マグネット、物理研究用超電導マグネット等の磁場の均一度が高く要求されている超電導マグネットは、主に磁場を発生する超電導メインコイル群、この超電導メインコイル群が超電導マグネットの中心付近に発生する磁場の空間的な分布を概略均一に補正する超電導補正コイル群、及びこれら 2 つのコイル群により超電導マグネットの中心付近に発生する磁場の空間的な分布を精密に調整するシムコイル群を備えて構成されている。また、要求される磁場の均一度の大きさによっては、超電導メインコイル群だけ、あるいは超電導メインコイル群と超電導補正コイル群で構成されることもある。

【0003】上記シムコイル群は、超電導線材を部材とする超電導シムコイル群と、超電導メインコイル群、超電導補正コイル群、及び前記超電導シムコイル群を内蔵する低温容器の径方向の内側で超電導マグネットの中心付近に設置される常電導シムコイル群とで構成されることが多い。

【0004】上記超電導マグネットにおいて均一な磁場を得ようとする場合、超電導メインコイル群及び超電導補正コイル群に電流を流して、超電導マグネットの中心

付近の磁場の空間分布を測定し、この測定される磁場の空間分布が均一になるように超電導シムコイル群及び常電導シムコイル群に電流を流す。超電導メインコイル群あるいは超電導メインコイル群と超電導補正コイル群だけで構成されている場合には、この操作を行なうことなく超電導メインコイル群あるいは超電導メインコイル群と超電導補正コイル群に電流を流しただけで超電導マグネットの中心付近の磁場の均一度を達成することになる。

10 【0005】上記超電導メインコイル群及び超電導補正コイル群は別々の巻棒に巻線されていることが多く、またそれぞれのコイル群も 2 つ以上の巻棒に巻線されていることが多い。このように巻棒が複数ある場合、それらを組み立てる際にそれぞれの磁場中心位置は、磁場の空間分布を測定する以前には不明であるために、機械的な中心位置を合わせるように組み立てられる。

【0006】しかしながら、機械的な加工精度の点から巻線中心位置は機械的な中心位置と異なる場合が多く、また、巻線の密度がコイルの軸方向に分布する場合には、磁場の中心は巻線中心位置や機械的中心位置と異なることが多い。かかる状況の元で磁場均一度の高い超電導マグネットを励磁すると、マグネットの磁場の軸心方向を Z 軸とすると、マグネットの中心付近の磁場（Bz）はルジャンドル（Legendre）関数で展開したときに Z だけにかかわる項を表示すると、 $B_z = \sum a_n \cdot Z^n + \dots$ （ $n=0, 1, 2, \dots$ ）と表わされ、主に $n=1$ の場合の、Z の 1 次 に比例した磁場成分を生じる。この強度が超電導シムコイル群及び常電導シムコイル群の補正能力の範囲内であれば、Z の 1 次 に比例した磁場成分を補正して磁場を均一にできるが、補正範囲を超えるくらいに大きな Z の 1 次 に比例した磁場成分を有する場合には、一度製作した超電導マグネットの巻線を巻き直したり、シムコイル群の補正能力を増強するために改良したり、あるいは強磁性体による磁場補正を行なう必要がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記のような問題を解消しようとするものであって、その目的は、巻線された超電導コイルを有する 2 つ以上の巻棒を同心に備えてなる超電導マグネットが発生する磁場の成分の内、上記 Z の 1 次にかかわる磁場成分を、一度製作した超電導マグネットの巻線を巻き直したり、シムコイル群の補正能力を増強したりすることなく自動的に小さくし得る、磁場均一度の高い超電導磁石装置を提供するものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明（請求項 1）に係る超電導磁石装置は、巻線された超電導コイルを有する 2 つ以上の巻棒を同心に

してマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設け、前記超電導コイルに電流を印加したときに作用する軸方向の電磁力によって移動可能な巻棒を相対的に移動させることにより、マグネットの中心付近の空間における磁場の成分を自動的に小さくして磁場の均一度を高めるようにしたものである。

【0009】上記構成では、巻線された超電導コイルを有する2つ以上の巻棒の内少なくとも1つの巻棒を他の巻棒に対してマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設けているので、超電導コイルに電流を印加したとき、それら超電導コイルが発生する磁場により軸方向に磁場中心位置を合わせるような電磁力が作用した場合には、前記移動可能に設けた巻棒が、その巻棒に巻線された超電導コイルの磁場中心位置を全体の磁場中心位置に合う方向に移動することになる。すなわち、上述した磁場の成分の内Zの1次にかかわる成分が発生する場合には、移動可能な巻棒がマグネットの軸方向に移動してその磁場成分を自動的に小さくすることができる。なお、巻線された超電導コイルを有する2つ以上の巻棒とは、超電導メインコイルを巻線した巻棒のみを2つ以上有する場合と、あるいは超電導メインコイルを巻線した巻棒と超電導補正コイルを巻線した巻棒との組み合わせで2つ以上有する場合の、何れの場合であってもよい。また、巻棒を相対的に移動させる手段としては、特に限定するものではないが、例えば巻棒を固定する基板にバネなどを介して設けるなどの手段を用いることができる。

【0010】本発明では、上記のように磁場の成分の内、Zの1次にかかわる成分を自動的に小さくすることができるために、この磁場成分の強度が超電導シムコイル群及び常電導シムコイル群の補正範囲を超えている場合のように、一度製作した超電導マグネットの巻線をしなおしたり、シムコイル群の補正能力を増強するために改良する必要がなくなるとともに、磁場の成分の内Zの1次にかかわる成分が小さくなるために、それらを補正するための超電導シムコイル群及び常電導シムコイル群の内、Zの1次の成分を発生するコイルを極めて小さく作っておけばよいので、シムコイル群の製作コストはもとより超電導マグネット装置の製作コストの低減に効果を発揮する。

【0011】そして、上記本発明に係る超電導マグネット装置においては、巻線された超電導コイルを有する2つ以上の巻棒の内、最も重量の大きな巻棒を低温容器に対して機械的に固定し、他の巻棒を各巻棒ごとにマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設けてあってもよい（請求項2）。このように設けることで、軸方向へ移動させる巻棒を小さな力で移動させることができ、バネなどの移動手段を軽量なものにして、上記の作用効果を得ることができる。

【0012】また、上記本発明に係る超電導マグネット装置においては、巻線された超電導コイルを有する2つ

以上の巻棒の内、最も軸方向長さの長い巻棒を低温容器に対して機械的に固定し、他の巻棒を各巻棒ごとにマグネットの軸方向に相対的に移動可能に設けてあってもよい（請求項3）。このように設けることで、軸方向へ移動させる巻棒を長さの短い巻棒とすることができ、超電導マグネット装置の軸方向長さを大きく増加することなく、上記の作用効果を得ることができる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基いて説明する。図1は、本発明に係る磁場均一度の高い超電導マグネット装置の簡略断面図である。超電導マグネット装置Mは、2つの主磁場を発生する超電導メインコイル1、3をそれぞれ巻線した巻棒2、4と、超電導メインコイル3の外側に設けられた超電導補正コイル群5（5a乃至5d）を巻線した巻棒6と、超電導補正コイル群5の外側に設けられた超電導シムコイル群7（7a乃至7f）を巻線した巻棒8とを低温容器9の中に納めて構成されるとともに、更に低温容器9の中央付近の室温空間部分に常電導シムコイル10を設けて構成されている。そして、本例では、超電導メインコイルの巻棒2、4と超電導シムコイルの巻棒8は常法により低温容器9に機械的に強固に固定されているが、超電導補正コイルの巻棒6は図示省略するバネ及び軸方向のガイドによって軸方向に移動可能に取付けられている。

【0014】図2は本発明に係る超電導マグネット装置の動作原理を説明するための簡略断面図であって、超電導補正コイル群5を巻線した巻棒6の取付け位置が超電導メインコイル1、3を巻線した巻棒2、4よりわずかに高くずれて取付けられ、その結果、超電導補正コイルの巻棒6の中心高さが超電導メインコイル1、3の巻棒2、4の中心高さよりわずかに高く取付けられた状態を示す他は、上記図1に示す構成と基本的に同じ構成である。

【0015】そして、上記図2において、超電導メインコイル1、3及び超電導補正コイル群5に電流を流すと、それら超電導メインコイル1、3及び超電導補正コイル群5が発生する磁場により超電導補正コイルの巻棒6には中心高さ（磁場中心位置）を合わせるような軸方向に下向きの矢印Xで示す電磁力が作用し、この電磁力により超電導補正コイルの巻棒6はその磁場中心位置を超電導メインコイル1、3の磁場中心位置に合う方向に移動するので、超電導マグネット装置Mの磁場均一度を高くすることができる。

【0016】なお、上記例では、超電導メインコイル1と3を別々の巻棒2と4にそれぞれ巻線した場合を示したが、本発明はこの例に限定されるものではなく、1つの巻棒に2つの超電導メインコイル1、3を内外2層に巻線するなどしてもよい。また、超電導メインコイルの巻棒も2つ以上備える構成としてもよい。また更に、超電導メインコイル1の巻幅を超電導メインコイル3の巻

幅より小さく形成した例としたが、巻幅が同じであってもよいし、逆に超電導メインコイル 1 の巻幅が大きく形成されてあってもよい。

【0017】また、上記例では、超電導補正コイル群 5 は 1 つの巻棒 6 に 4 個所に超電導補正コイル 5 a 乃至 5 d を巻線した場合を例に示したが、本発明はこの例に限定されるものではなく、超電導補正コイルの巻棒の数や、1 つの巻棒に巻線される超電導補正コイルの個数は *

| コイルNo | a 1 (cm) | a 2 (cm) | b 1 (cm) | b 2 (cm) | Turn |
|-------|----------|----------|----------|----------|------|
| 1 | 4.000 | 4.516 | -12.000 | 12.000 | 2968 |
| 3 | 4.516 | 5.606 | -12.000 | 12.000 | 8780 |
| 5 a | 6.606 | 7.696 | 8.128 | 12.010 | 1400 |
| 5 b | 6.606 | 7.696 | -12.010 | -8.128 | 1400 |
| 5 c | 6.606 | 6.933 | 1.265 | 2.415 | 120 |
| 5 d | 6.606 | 6.933 | -2.415 | -1.265 | 120 |

【0019】上記表 1 の横欄に示す記号 (a 1, a 2, b 1, b 2) は図 3 に示すとおりであり、a 1 はコイルの内半径、a 2 はコイルの外半径、b 1 は磁場中心位置からコイルの下面までの距離、b 2 は磁場中心位置からコイルの上面までの距離をそれぞれ示し、また Turn は巻数を示す。

【0020】上記表 1 に示すコイルパラメータにおけるこれらの超電導メインコイル 1、3 及び超電導補正コイル *

* 必要に応じて適宜の数や個数とすることができる。

【0018】ここで実施例について具体的な数値を以下に示し本発明を説明する。なお、この例では、上記図 1、2 に示した超電導メインコイル 1 と 3 を 1 つの巻棒 2 に内外 2 層に巻線した。この例の超電導メインコイル 1、3 及び超電導補正コイル 5 a 乃至 5 d のコイルパラメータを表 1 に示す。

【表 1】

※ル 5 a 乃至 5 d が中心付近に作る磁場の成分の内、Z の 1 次 に比例する成分は半径 10 mm の空間内において、0 である。

【0021】次に上記の例において 4 つの超電導補正コイル 5 a 乃至 5 b が巻棒 6 ごと超電導メインコイル 1、3 に対して 1 mm ずれた場合には、各超電導コイルの巻線状況を示す数値は下記表 2 に示ようになる。

【表 2】

| コイルNo | a 1 (cm) | a 2 (cm) | b 1 (cm) | b 2 (cm) | Turn |
|-------|----------|----------|----------|----------|------|
| 1 | 4.000 | 4.516 | -12.000 | 12.000 | 2968 |
| 3 | 4.516 | 5.606 | -12.000 | 12.000 | 8780 |
| 5 a | 6.606 | 7.696 | 8.228 | 12.110 | 1400 |
| 5 b | 6.606 | 7.696 | -11.910 | -8.028 | 1400 |
| 5 c | 6.606 | 6.933 | 1.365 | 2.515 | 120 |
| 5 d | 6.606 | 6.933 | -2.315 | -1.165 | 120 |

【0022】上記表 2 に示す巻線状況のこれらの超電導コイルが中心付近に作る磁場の成分の内、Z の 1 次 に比例する成分は半径 10 mm の空間内において、中心磁場に対して 224 ppm である。一方、4 つの超電導補正コイル群 5 (5 a 乃至 5 d) が超電導メインコイル 1、3 から受ける電磁力は 194 kg となる。超電導補正コイル群 5 はこの電磁力によってその巻線の中心位置が超電導メインコイル 1、3 の中心位置と一致する方向に移動しようとする。電磁力の大きさは中心位置のずれ量にほぼ比例しており、超電導補正コイル群 5 の中心位置が超電導メインコイル 1、3 の中心位置に近づくに従って、電磁力の大きさが小さくなり、最終的に中心位置が一致すれば、電磁力は 0 となる。この状態においてこれらの超電導コイル 1、3 及び 5 a 乃至 5 d が中心付近に作る磁場の成分の内、Z の 1 次 に比例する成分は半径 10 mm の空間内において、0 となる。

【0023】上述した例では超電導補正コイルが存在する超電導マグネットを例に示したが、2 つ以上の巻棒からなる超電導メインコイルだけで構成される均一度の高い超電導マグネットについても、巻棒の少なくとも 1 つを他の巻棒に対して相対的に移動可能に設けることにより同様の効果が得られる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る超電導マグネット装置によれば、磁場の成分の内、Z の 1 次にかかわる成分を自動的に小さくすることができるために、この磁場成分の強度が超電導シムコイル群及び常電導シムコイル群の補正範囲を超えている場合のように、一度製作した超電導マグネットの巻線をしなおしたり、シムコイル群の補正能力を増強するために改良する必要性がなくなるとともに、磁場の成分の内 Z の 1 次にかかわる成分が小さくなるために、それらを補正するための超電導シムコイル群及び常電導シムコイル群の内、Z の 1 次成分を発生するコイルを極めて小さく作っておけばよいので、シムコイル群の製作コストはもとより超電導マグネット装置の製作コストの低減が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る磁場均一度の高い超電導マグネット装置の簡略断面図である。

【図 2】本発明に係る超電導マグネット装置の動作原理を説明するための簡略断面図である。

【図 3】コイルパラメータに示す符号の意味を説明するための説明図である。

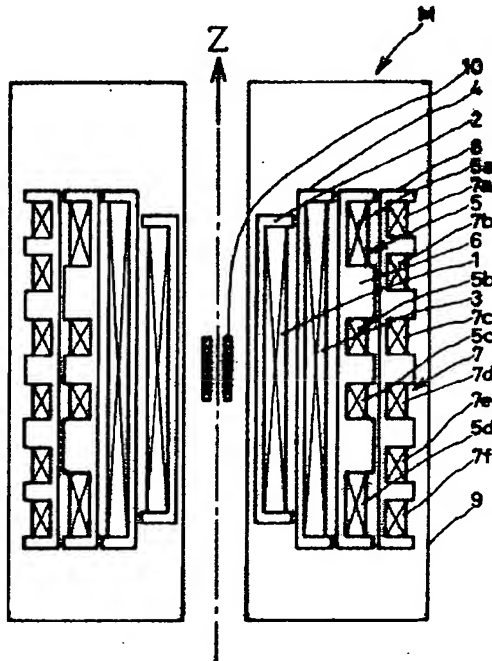
【符号の説明】

(5)

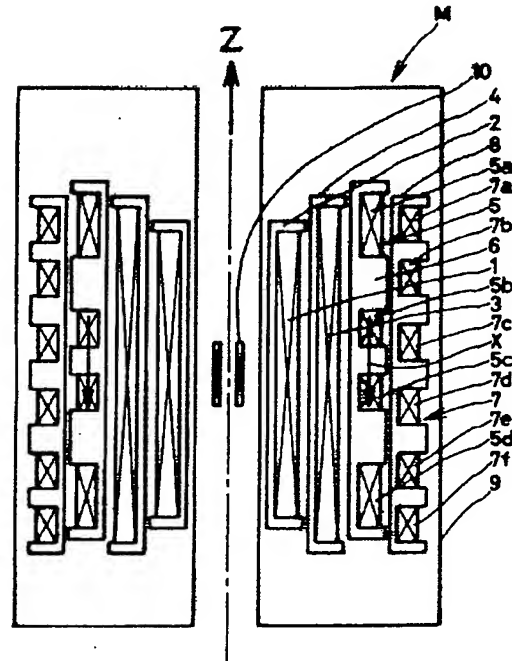
特開2002-43116

- 7
1, 3: 超電導メインコイル
ンコイルの巻棒
5: 超電導補正コイル群
補正コイル
6: 超電導補正コイルの巻棒
ル群
- 2, 4: 超電導メイ
ンコイルの巻棒
5a~5d: 超電導
補正コイル
7: 超電導シムコイ
ル群
- 8
* 7a~7f: 超電導シムコイル
の巻棒
9: 低温容器
M: 超電導マグネット装置
- 10: 常電導シムコイ
ル
- *

【図1】



【図2】



【図3】

